

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-123342

(43)Date of publication of application : 15.05.1998

(51)Int.Cl.

G02B 6/122

G02B 6/00

(21)Application number : 08-282531

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 24.10.1996

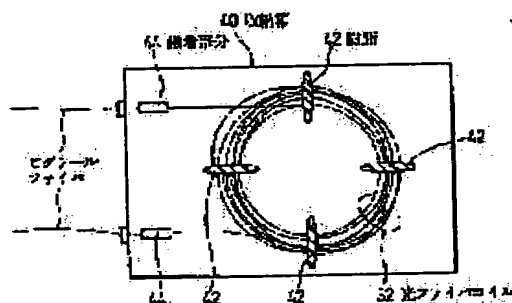
(72)Inventor : KOYANO YASUSHI
SASAKA HIDEYORI

(54) WAVELENGTH DISPERSION COMPENSATOR AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a small-sized wavelength dispersion compensator which has low transmission loss and contains a long wide-band DCF so that no increase in transmission loss is caused even in high-temperature environment.

SOLUTION: An optical fiber coil 32 after being manufactured by winding the wide-band DCF (dispersion compensating optical fiber) around a coil barrel is taken out of the coil barrel to manufacture an optical fiber coil 32 in a bundle state wherein winding strain is released. Resin 42 is used as a winding disorder preventive member to fix the optical fiber coil 32 to a storage box at four places. Both the ends of the optical fiber coil 32 are connected to pigtail fibers by fusion splicing parts 44 respectively. Even when the storage box is closed with its lid after the optical fiber coil 32 is fixed to the storage box 40 with the resin 42, a gap is left in the bundle of the optical fiber coil 32 and a space is left between the optical fiber coil 32 and storage box, so there is no increase in the transmission loss, etc., even when the bundled optical fiber coil 32 is stored in the storage box 40.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10-123342

(43) 公開日 平成10年(1998)5月15日

(51) Int. Cl.⁶

G 0 2 B 6/122

6/00

識別記号

3 3 6

F I

G 0 2 B 6/12

6/00

C

3 3 6

審査請求 未請求 請求項の数 1 1 O L

(全 1 3 頁)

(21) 出願番号 特願平8-282531

(22) 出願日 平成8年(1996)10月24日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 小谷野 裕史

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 笹岡 英資

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

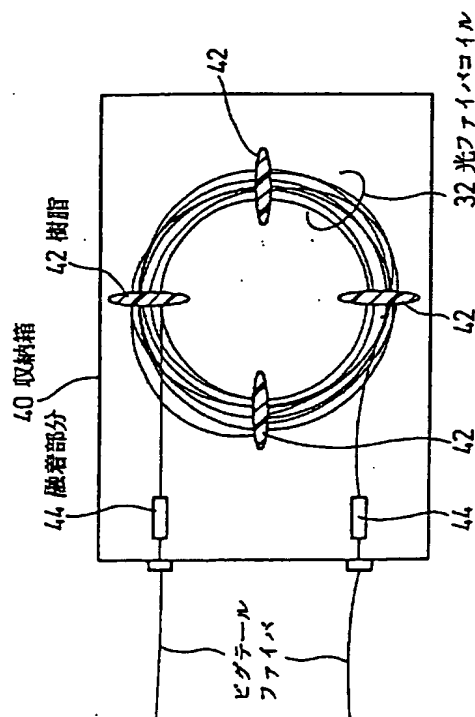
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 波長分散補償器および波長分散補償器の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 低伝送損失であって、且つ高温環境でも伝送損失増加を生じないように長尺の広帯域用DCFを収納した小型の波長分散補償器を提供する。

【解決手段】 コイル胴に広帯域DCFを巻き回して光ファイバコイル32を製作した後に、光ファイバコイルをコイル胴から取り外して巻き歪みを解放した束状態の光ファイバコイル32を製作する。巻き崩れ防止部材として樹脂42を用いて、光ファイバコイル32を収納箱40に4箇所にて固定する。光ファイバコイル32の両端は、ビグテールファイバに融着部分44でそれぞれ接続される。光ファイバコイル32を収納箱40に樹脂42で固定した後に収納箱の蓋を閉めても、光ファイバコイル32の束内にも間隔があり、また光ファイバコイル32と収納箱との間にも空間があるので、束状態の光ファイバコイル32を収納箱40に収納しても伝送損失等が増加しない。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバ伝送路の波長1.55 μ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバが複数回巻き回された光ファイバコイルと、

前記波長分散補償光ファイバの巻き歪みが実質的に解放された状態で前記光ファイバコイルを収納する収納ケースと、を備えていることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項2】 光ファイバ伝送路の波長1.55 μ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバが複数回巻き回された光ファイバコイルと、

前記波長分散補償光ファイバの巻き歪みが実質的に解放された状態で束にされた前記光ファイバコイルを収納する収納ケースと、を備えていることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項3】 光ファイバ伝送路の波長1.55 μ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、胴の直径が第1の直径から第2の直径に縮小可能なコイル胴と、

前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバが前記第1の直径において前記コイル胴に複数回巻き回された光ファイバコイルと、

前記コイル胴の直径が前記第2の直径に実質的に縮小されて前記波長分散補償光ファイバの巻き歪みが実質的に解放された状態で前記光ファイバコイルを収納する収納ケースと、を備えていることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項4】 前記光ファイバコイルを前記収納ケースに固定することにより巻き崩れを防止する巻き崩れ防止部材を更に備えることを特徴とする請求項2または請求項3に記載の波長分散補償器。

【請求項5】 前記巻き崩れ防止部材は、前記光ファイバコイルを前記収納ケースに複数の箇所固定する樹脂で形成されていることを特徴とする請求項4に記載の波長分散補償器。

【請求項6】 前記巻き崩れ防止部材は、前記光ファイバコイルを前記収納ケースに固定するクッション材であることを特徴とする請求項4に記載の波長分散補償器。

【請求項7】 前記光ファイバコイルの直径は、最小部分で100mm以下であることを特徴とする請求項1、請求項2または請求項3に記載の波長分散補償器。

【請求項8】 光ファイバ伝送路の波長1.55 μ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器の製造方法

において、

前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバをコイル胴に複数回巻き回して光ファイバコイルを製造するコイル製造工程と、

前記コイル胴から前記光ファイバコイルを取り外して前記波長分散補償光ファイバの巻き歪みが実質的に解放された状態で束にされた前記光ファイバコイルを形成するコイル取り外し工程と、を備えたことを特徴とする波長分散補償器の製造方法。

【請求項9】 前記コイル製造工程および前記コイル取り外し工程の少なくとも一方に先立ち、前記コイル胴に滑材を塗布する滑材塗布工程を更に備えることを特徴とする請求項8に記載の波長分散補償器の製造方法。

【請求項10】 前記コイル製造工程は、40g重以下の巻取り張力で前記波長分散補償光ファイバを前記コイル胴に複数回巻き回して光ファイバコイルを製造する工程であることを特徴とする請求項8または請求項9に記載の波長分散補償器の製造方法。

【請求項11】 光ファイバ伝送路の波長1.55 μ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器の製造方法において、

前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバをコイル胴に複数回巻き回して光ファイバコイルを製造するコイル製造工程と、

前記コイル製造工程の後に、前記コイル製造工程での前記コイル胴の直径に比べて前記コイル胴の直径を実質的に減少させて巻き歪みが実質的に解放された状態にする胴径変更工程と、を備えたことを特徴とする波長分散補償器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長分散補償器およびその製造方法に関し、特に光ファイバ伝送路の波長1.55 μ m帯の波長分散を低減する波長分散補償器およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】希土類元素のエルビウム(Er)を添加した光ファイバを利用して1.55 μ m帯で動作する光増幅器を用いると、1.55 μ m帯での長距離大容量伝送が可能である。しかし、零分散波長を1.3 μ m帯にもつシングルモード光ファイバ(1.3SMF)を用いて1.55 μ m帯で伝送を行う場合、零分散波長が一致しないので、大きな波長分散が生じて光信号が歪むので信号品質が劣化する。このため、1.3SMFを用いて1.55 μ m帯で伝送を行う際には、波長分散を抑える技術が必要である。その一つとして、1.3SMFとは

逆符号の大きな波長分散をもつ分散補償光ファイバ(DCF)を用いて、1.55 μ m帯における波長分散を相殺する方法がある。

【0003】このDCFには、大きく分けて二つの種類がある。一つは、特定の波長での波長分散が1.3SMFと逆であるため、その波長での波長分散を補償できるDCFである。この種のDCFの構造としては、クラッド部の屈折率が一樣なマッチドクラッド型(図18

(a))のDCFが知られている。他の一つは、波長分散だけでなく波長分散の波長依存性(波長分散傾斜)も1.3SMFと逆であるため、広い帯域において波長分散を補償できるDCFである。この種の広帯域用DCFの構造としては、コア部とクラッド部の間にディプレスト部を有する二重クラッド型(図18(b))と、クラッド部とコア部との間にディプレスト部を有し更にディプレスト部とクラッド部の間に屈折率がクラッド部よりも高い部分を有する二重コア型(図18(c))と、クラッド部の中に屈折率の高い部分を設けたセグメントコア型(図18(d))とが知られている。このようなDCFを用いれば、波長を僅かにシフトさせた複数の光で信号を送ることができるので、ファイバ1本当たりの伝送容量を増加できる波長多重伝送が容易に行える。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、広帯域用DCFに適した二重クラッド型、二重コア型およびセグメントコア型の光ファイバは、一般に曲げ損失特性が悪いので、小さなコイルに収納すると、伝送波長帯である1.55 μ m帯で大きな伝送損失が生じる。この曲げ損失は、コイルの直径を大きくして巻き層数を減少すれば低減できる。しかし、コイルの直径を大きくすると、波長分散補償器が大きくなり好ましくない。

【0005】また、波長分散補償器は、エルビウム添加の光ファイバを用いた光増幅器を併設して用いられることが多い。この場合には、光増幅器内部の励起用レーザからの発熱により波長分散補償器の温度が上昇するため、コイルが熱膨張して広帯域用DCFに歪みを発生させるので、伝送損失が増大する。このような高温環境下での伝送損失は、コイル胴に熱膨張の小さい材料を用いると低減できる。ところが、熱膨張係数の小さい石英ガラス、セラミックス、特殊な合金等の材料は、加工が困難であったり、また材料が高価であったりする。

【0006】したがって、本発明の目的は、低伝送損失であって、かつ高温環境でも伝送損失の増加を生じない長尺の広帯域用DCFを効率よく収納した小型の波長分散補償器およびその製造方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記の目的を達成するために検討を重ねた結果、下記の点に着目して本発明をするに至った。

【0008】長尺の広帯域用DCFを小型コイルに巻く

と、伝送波長帯である1.55 μ m帯で大きな伝送損失が増加する。この波長依存性を調べると、長波長側ほど伝送損失が大きくなるいわゆるマクロバンド損失であることを見いだした。マクロバンド損失は、光ファイバを小さな曲率で曲げたときに発生するものである。広帯域用DCFをコイルに巻くと、コイル胴の胴径に応じた曲率で曲げられるために、マクロバンド損失が発生する可能性がある。しかし、コイルを巻いた後にコイル胴を抜き取ると、増加した伝送損失はほとんど消失した。このため、コイル巻きによって発生する伝送損失の主要因は、多層に巻いたために隣合うファイバから受ける側圧であることが明らかになった。したがって、マクロバンド損失は、側圧により光ファイバが屈曲して生じていると考えられる。そこで、この側圧を解消すれば、低伝送損失の光ファイバコイルを生産できるという結論に至った。

【0009】また、広帯域用DCFを小型コイルに収納した状態で温度を変化させても、1.55 μ m帯で大きな伝送損失を生じる。また、広帯域用DCFをコイルに巻き取る際に巻き取り張力を増大させ、あるいは胴径の小さいコイルに広帯域用DCFを巻き取ると、伝送損失の温度変化量が増大する。これらの事実は、この伝送損失変化と側圧の大きさとの深い関係を示している。したがって、伝送損失の温度依存性を低減するためには、側圧を解消すればよいことが判った。

【0010】したがって、本発明は次のような構成とした。

【0011】本発明に係わる波長分散補償器は、光ファイバ伝送路の波長1.55 μ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバが複数回巻き回された光ファイバコイルと、波長分散補償光ファイバの巻き歪みが実質的に解放された状態で光ファイバコイルを収納する収納ケースとを備えている。

【0012】このように、巻き歪みが実質的に解放された状態で光ファイバコイルを収納ケースに収納するので、広帯域用DCFを多層に巻き回したために発生した側圧が緩和され、且つ高温環境下においてもコイル胴の熱膨張による影響を受けないで光ファイバコイルが収納される。

【0013】本発明に係わる波長分散補償器は、光ファイバ伝送路の波長1.55 μ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバが複数回巻き回された光ファイバコイルと、波長分散補償光ファイバの巻き歪みが実質的に解放された状態で束にされた光ファイバコイルを収納する

収納ケースとを備えている。

【0014】このように、巻き歪みが実質的に解放された束状態で巻きほぐし光ファイバコイルを収納ケースに収納するので、広帯域用DCFを多層に巻き回したために発生した側圧が緩和され、且つ高温環境下でもコイル胴の熱膨張による影響を受けないで光ファイバコイルが収納される。

【0015】本発明に係わる波長分散補償器は、光ファイバ伝送路の波長1.55 μ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、胴の直径が第1の直径から第2の直径に縮小可能なコイル胴と、光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバが第1の直径においてコイル胴に複数回巻き回された光ファイバコイルと、コイル胴の直径が第2の直径に実質的に縮小されて波長分散補償光ファイバの巻き歪みが実質的に解放された状態で光ファイバコイルを収納する収納ケースとを備えている。

【0016】このように、光ファイバコイルを製作した後に胴径を実質的に収縮して巻きほぐしてから、光ファイバコイルを収納ケースに収納するので、広帯域用DCFを多層に巻き回したために発生した側圧が緩和され、且つ高温環境下に置かれてもコイル胴の熱膨張による影響を受けないで光ファイバコイルが収納される。

【0017】本発明に係わる波長分散補償器は、光ファイバコイルを収納ケースに固定することにより巻き崩れを防止する巻き崩れ防止部材を更に備えるものでもよい。

【0018】このように、巻き崩れ防止部材により光ファイバコイルを収納ケースに固定すれば、巻き歪みが実質的に解放された状態で収納しても、波長分散補償器の運搬等における振動、衝撃による光ファイバの破断、光ファイバコイルの巻き崩れおよび伝送損失の増加を防止できる。

【0019】本発明に係わる波長分散補償器は、巻き崩れ防止部材が、光ファイバコイルを収納ケースに複数の箇所固定する樹脂で形成されていてもよい。

【0020】このように、巻き崩れ防止部材として樹脂を用いて光ファイバコイルを収納ケースに固定すれば、波長分散補償器の運搬等における振動、衝撃による光ファイバの破断、光ファイバコイルの巻き崩れおよび伝送損失の増加を簡易に防止できる。

【0021】本発明に係わる波長分散補償器は、巻き崩れ防止部材が、光ファイバコイルを収納ケースに固定するクッション材であってもよい。

【0022】このように、巻き崩れ防止部材としてクッション材を用いて光ファイバコイルを収納ケースに固定すれば、波長分散補償器の運搬等における振動、衝撃による光ファイバの破断、光ファイバコイルの巻き崩れおよび伝送損失の増加を簡易に防止できる。

【0023】本発明に係わる波長分散補償器は、光ファイバコイルの直径が、最小部分で100mm以下であるようにしてもよい。

【0024】このように、巻き歪みが実質的に解放された状態であって、且つ高温環境下に置かれてもコイル胴の熱膨張の影響を受けない状態で、直径が100mm以下という小型の光ファイバコイルを収納ケースに収納できると、伝送損失および伝送損失の温度依存性が低減された小型の波長分散補償器が得られる。

【0025】本発明に係わる波長分散補償器の製造方法は、光ファイバ伝送路の波長1.55 μ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器の製造方法において、光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバをコイル胴に複数回巻き回して光ファイバコイルを製造するコイル製造工程と、コイル胴から光ファイバコイルを取り外して波長分散補償光ファイバの巻き歪みが実質的に解放された状態で束にされた光ファイバコイルを形成するコイル取り外し工程とを備えた。

【0026】このように、巻き歪みが実質的に解放された束状態の光ファイバコイルをコイル取り外し工程により形成するので、広帯域用DCFを多層に巻き回したために発生した側圧が巻きほぐされて緩和され、且つ高温環境下に置かれてもコイル胴の熱膨張の影響を受けない光ファイバコイルを製造できる。

【0027】本発明に係わる波長分散補償器の製造方法は、コイル製造工程およびコイル取り外し工程のいずれか一方に先立ちコイル胴に滑材を塗布する滑材塗布工程を更に備えてもよい。

【0028】このように滑材塗布工程を備えれば、コイル胴と光ファイバコイルの摩擦を小さくできるので、光ファイバコイルのコイル胴からの取り外しが容易になる。

【0029】本発明に係わる波長分散補償器の製造方法は、コイル製造工程が、40g重以下の巻取り張力で波長分散補償光ファイバをコイル胴に複数回巻き回して光ファイバコイルを製造する工程であってもよい。

【0030】このように巻取り張力を40g重以下にすれば、コイル胴と光ファイバコイルの摩擦を小さくできるので、光ファイバコイルのコイル胴からの抜き取りが容易になる。

【0031】本発明に係わる波長分散補償器の製造方法は、光ファイバ伝送路の波長1.55 μ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器の製造方法において、光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバをコイル胴に複数回巻き回して光ファイバコイルを製造するコイル製造工程と、コイル製造工程の後に、コイル製造工程でのコ

イル胴の直径に比べてコイル胴の直径を実質的に減少させて巻き歪みが実質的に解放された状態にする胴径変更工程とを備えた。

【0032】このように、胴径変更工程で胴径を実質的に縮小して、広帯域DCFが巻きほぐされた束の状態の光ファイバコイルを形成するので、多層に巻き回したために発生した側圧が緩和され、且つ高温環境下に置かれてもコイル胴の熱膨張による影響を受けない光ファイバコイルを製造できる。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、広帯域用DCF（以下、単にDCFと記す）を用いて光ファイバコイルを作製した場合について、添付図面を参照しながら本発明を詳細に説明する。

【0034】図1は、実施の形態で使用するDCFの断面図であり、被覆層が2層の場合を示す。このDCFは、ガラス製の光ファイバ11を中心に同心円柱殻状の2層の被覆層13、15を光ファイバ11の側面に有する。被覆層は2層に限られない。DCFの被覆材には樹脂を用いる。実施の形態において、光ファイバコイルの製作には、ガラス径 $c=100\mu\text{m}$ 、一次被覆層厚 $d=20\mu\text{m}$ 、二次被覆層厚 $e=20\mu\text{m}$ 、ファイバ外径 $f=180\mu\text{m}$ の二重クラッド型（図18（b））の屈折率分布をもつDCF（ファイバA）を用いる。なお、20℃において、一次被覆層のヤング率は 0.06kg重/mm^2 であり、二次被覆層のヤング率は 65kg重/mm^2 である。

【0035】図2は、DCFの巻き取り用のコイルの斜視図であり、コイル胴径（以下、胴径という）を g 、コイル罫径を h 、コイルの巻き幅を k とする。コイルは、DCFを多層に巻き付ける円柱形のコイル胴20と2枚の円板形のコイル罫21とからなる。2枚のコイル罫21はコイル胴20を挟み、且つこの両者は中心軸を一致させて配置されている。図2によればコイル胴は円柱形であるが、これに限られない。また、コイルはアルミ製としたが、これに限られない。

【0036】図3は、実施の形態で使用するDCFの諸元を一覧に示した諸元一覧図である。屈折率分布形状は、図18（b）に対応し、また $\Delta+$ 、 $\Delta-$ 、 a および b は、それぞれ図18中の記号に対応する。ガラス径 c 、一次被覆厚 d 、二次被覆厚 e 、ファイバ外径 f は、それぞれ図1の符号に対応する。

【0037】また、以下の説明に際して、数値を分かり易くするために、力およびヤング率の単位として重力単位系を用いる。

【0038】（第1の実施の形態）本実施の形態では、光ファイバコイルの巻き歪みを実質的に解放するために光ファイバコイルを束状にする場合について説明する。

【0039】本実施の形態では、ファイバ長 10km のファイバAを、胴径が $g=100\text{mm}$ 、コイル罫径が h

$=200\text{mm}$ 、巻き幅が $k=18\text{mm}$ のアルミ製コイルに、巻きピッチが 0.4mm 、巻き取り張力が 40g 重の条件で巻いて光ファイバコイルを作製した。

【0040】図4は、この光ファイバコイルを作製した後に測定した伝送損失値（コイル巻き後）と、図5に示すヒートサイクルを光ファイバコイルに行った後に測定した伝送損失値（ヒートサイクル後）とを示した特性図であり、伝送損失値の損失変化量を縦軸に、波長を横軸に示す。波長 $1.55\mu\text{m}$ で測定すると、コイル巻き後の損失変化値は 1.7dB であった。ヒートサイクル後の損失変化値は、側圧が緩和されて小さくなり、 0.25dB であった。また、この光ファイバコイルを 70°C まで加熱して伝送損失値を測定すると、ヒートサイクル後 20°C での値に比べて、変化量は 0.24dB であった。再度 20°C に冷却して伝送損失値を測定すると、ヒートサイクル後の値に戻り伝送損失の変化は消滅した。

【0041】なお、図5に示したヒートサイクルでは、被測定光ファイバコイルを温度 20°C で1時間放置した後に、 80°C と -40°C を交互に2回繰り返してそれぞれ1時間放置して、最後に 20°C にして2時間放置している。各温度間の変化は、温度上昇変化率を $1^\circ\text{C}/\text{分}$ 、温度降下変化率を $-1^\circ\text{C}/\text{分}$ で行っている。

【0042】次に、側圧を解消するために、巻き取ったコイル胴から光ファイバコイルを外し伝送損失値の変化を調べた。まず、先ほどと同じ条件で光ファイバコイルを作製し、コイル胴に巻いた光ファイバコイルの伝送損失値（コイル巻き後）を測定した。更に、両方のコイル罫を外して注意深くコイル胴を抜き取り、巻きほぐして束状態にした光ファイバコイルの伝送損失値（コイル胴抜き後）を測定した。

【0043】図6は、コイル巻き後の伝送損失値とコイル胴抜き後の伝送損失値とを示した特性図であり、伝送損失値の損失変化量を縦軸に、波長を横軸に示す。波長 $1.55\mu\text{m}$ で、コイル巻き後に測定すると、損失変化値は 1.7dB であった。コイル胴抜き後に測定すると、コイル巻きにより生じた伝送損失の変化は消滅した。また、コイル胴抜き後の光ファイバコイルを 70°C まで加熱し、波長 $1.55\mu\text{m}$ で伝送損失値を測定すると、 20°C での値に比べて 0.06dB 増加した。

【0044】この微小な伝送損失値の変化量は、文献（Tanaka et. al., "TEMPERATURE DEPENDENCE OF INTRINSIC TRANSMISSION LOSS FOR HIGH SILICA FIBER", European Conference on Optical Communication, pp193~pp196, 1987）にて報告されている 1.3SMF での値と同程度の値である。このため、この伝送損失は、側圧とは無関係な値であって、光ファイバがもつ本質的な温度依存性損失と考えられる。

【0045】このように、コイル胴にDCFを複数回巻き回して製作した光ファイバコイルを、コイル胴から取り外して巻きほぐした束状態にしたので、光ファイバコイルの巻き歪みが実質的に解放された状態となった。このため、DCFを多層に巻き回したために発生した側圧が緩和され、また高温環境下でコイル胴の熱膨張の影響を受けなくなるので、光ファイバコイルの伝送損失および伝送損失の温度依存性が低減できる。これを収納ケースに収納すれば、波長分散補償光ファイバの巻き歪みが実質的に解放された状態で光ファイバコイルを収納できる。

【0046】光ファイバコイルをコイル胴から抜き取る際には、DCFを巻き回す前に予めコイル胴に微粉末等の滑材を塗布しておくことが好ましい。滑材を塗布すると、光ファイバコイルとコイル胴表面との摩擦係数を小さくできるので、光ファイバコイルの抜き取りが容易になるからである。例えば、コイル胴に何も塗布せずに本実施の形態と同一の条件でDCFを巻き回して作製した光ファイバコイルを、コイル胴から抜き取るために約15分を要した。一方、粉末無機質充填材として用いられるタルク（理化学辞典、4版、pp239）をコイル胴に塗布した後に、DCFを巻き回して光ファイバコイルを作製すると、抜き取り時間は約4分であった。滑材は、タルクのような微粉末に限られず、光ファイバコイルをコイル胴から抜き取る際にDCFとコイル胴表面との摩擦係数を小さくできるものであれば、液体状のものでもよく、またコイル巻き後に塗布してもよい。

【0047】また、DCFをコイル胴に巻き取る時の張力は、小さい方が好ましい。張力が小さいと、光ファイバコイルとコイル胴表面との摩擦を小さくできるので、光ファイバコイルの抜き取りが容易になるからである。例えば、コイル胴にタルクを塗布した後に、巻き取り張力50g重でDCFを巻き回して光ファイバコイルを作製したとき、抜き取り時間は約20分であった。一方、巻き取り張力のみ40g重にして光ファイバコイルを作製したとき、抜き取り時間は約4分であった。巻き取り張力は、DCFが巻き状態が乱れない程度の低張力であるほどよく、実験等により経験から導き出された値として、40g重程度以下が好ましい。

【0048】なお、束状の光ファイバコイルは、DCFをコイル胴に巻き回して作製した後に、コイル胴から取り外して作製したものに限られない。光ファイバコイルの製造工程内でコイル胴に相当する部材にDCFを巻き取って光ファイバコイルを作製した後に、この部材から光ファイバコイルを外して作製してもよい。

【0049】（第2の実施の形態）本実施の形態では、光ファイバコイルの巻き歪みを実質的に解放するために、DCFをコイル胴に巻き取った後に、胴径を実質的に縮小する場合について説明する。

【0050】まず、DCFの巻き取り後に胴径を縮小で

きるコイルの構造を説明する。

【0051】図7(a)は、コイルの分解部品図である。このコイルは、円柱形の芯部材22と、コイル鍔26と、支持部材28と、楔状部材24とを備える。コイル鍔26は、芯部材22を挿入する開口部を中央部に持つ薄い円板である。支持部材28は、芯部材22を挿入する開口部を中央部に有する。楔状部材24は、図7(b)の側面図に示すように、中心を含む線で円板を十等分した形状であり、中央部の両側面に突起30を有し、円周部にコイルの巻き幅と同じ寸法の肉厚部を持つ。図7(c)は、これらの部品を組み立てたコイルを、中心軸を含む面で切断した断面図である。2枚のコイル鍔26が支持部材28を両側から挟み、且つこれらが同心軸上に配置されている。更に、これらの中央部にある開口部に芯部材22を挿入すると、コイル鍔26および支持部材28は固定される。楔状部材24は、支持部材28と両側からコイル鍔26とにより挟まれて固定され、且つ楔部先端で芯部材22に接している。

【0052】図8(a)は、支持部材28の上面図である。図8(b)は、図8(a)のA-A'線断面を切断面側から見た断面図である。支持部材28は、円周側から開口部の縁まで設けられた接続壁34により、2枚の円板を貼り合わせた構造を有する。接続壁34は、それぞれの間に楔状部材24を挿入するため、楔形状に合わせて10個設けられている。また、それぞれの接続壁34間の中央部には、周辺側から中央側に向けて形成された溝36がある。図8(c)は、溝36部の拡大図である。溝36は、直方体の形状の陥没部からなる。溝36内には、支持部材28の周辺側に一端が固定された蔓巻きばね38が配置されている。蔓巻きばねを用いたのは、構造が簡単であり小型のものが製造できるからである。なお、蔓巻きばね38は、弾性体として作用するのであれば、これに限られない。

【0053】次に、コイル胴にDCFを巻き取った後に胴径を縮小する機構を図9を用いて説明する。なお、図9では、縮小の機構が分かり易いように、コイル鍔26は省略し、また支持部材28の内側に隠れて見えない楔状部材24を破線で示した。

【0054】図9(a)と図9(b)は、それぞれ胴径縮小前のコイルの側面図と上面図である。楔状部材24は、支持部材24の接続壁34の間に楔部を中心に向けて挿入されて、楔部先端で芯部材22に接している。両側の突起30は、夫々蔓巻きばね38を押し縮めて対応する溝36へはめ込まれる。このため、楔状部材24は蔓巻きばね38により中心方向への力を受けるので、直径10mmの芯部材22により固定される。このようにして、10枚の楔状部材24の円弧により、略円柱形のコイル胴が形成される。DCF（図示せず）は、この面に巻き回される。図9(a)において、胴径は100mmであり、巻き幅は18mmである。図9(c)と図9

(d) は、それぞれ胴径縮小後のコイルの側面図と上面図である。コイルから芯部材 22 を抜き取ると、楔状部材 24 は蔓巻きばね 38 の力により中心方向に移動して楔部分が揃うので、円柱状の縮小したコイル胴が形成される。図 9 (c) において、縮小後の胴径は 90 mm である。

【0055】コイル胴が縮小できる構造は、以上説明したような構造に限られない。DCF を巻き回す時の胴径に比べて、波長分散補償器に収納された状態での胴径が実質的に縮小されていればよく、具体的な機構は問わない。楔状部材 24 の数、溝 36 の構造等は例示であり、それぞれの機能を発揮できる構成であれば他の構成でもよい。なお、実質的に縮小とは、巻き歪みが解放されて、伝送損失および伝送損失の温度依存性が低減できる程度の縮小ということができる。

【0056】以上の説明からわかるように胴径の縮小の程度は、芯部材 22 の直径により変更できる。胴径の縮小の割合は、胴径に対して数%であることが好ましい。この程度あれば、巻き歪みが実質的に解放されるので、側圧を緩和ができる。また、十分に側圧を緩和するため、5~6%あれば更に好ましい。なお、縮小の程度は多くても 10% を越えることはない。

【0057】次に、このような構造を持ち、胴径が $g = 100 \text{ mm}$ 、コイル鏝径が $h = 200 \text{ mm}$ 、巻き幅が $k = 18 \text{ mm}$ のコイルに、長さ 10 km の光ファイバ A を巻きピッチが 0.4 mm 、巻き取り張力が 40 g 重の条件で巻いて光ファイバコイルを製作した。波長 $1.55 \mu\text{m}$ で伝送損失値を測定すると、 1.7 dB の損失増加が見られた。

【0058】次に、胴径を 90 mm に縮小してから、光ファイバの巻き外径には変化を与えずに巻きほぐして、光ファイバ全体の巻き具合あるいは粗密の状態を均等にするためにコイルを揺動させた後に伝送損失値を測定すると、コイル巻きによって生じた伝送損失値の増加は消滅した。このコイルを 70°C に加熱して伝送損失値を測定すると、 20°C に比べて損失増加は 0.06 dB であり、光ファイバに本質的に存在する損失増加以外は発生しなかった。

【0059】このように、DCF を複数回巻き回して光ファイバコイルを製作した後に、コイル胴を縮小すると、光ファイバコイルの巻き歪みが実質的に解放された状態となる。このため、DCF を多層に巻き回したために発生した側圧が緩和され、また高温環境下に置かれてもコイル胴の熱膨張による影響を受けないので、光ファイバコイルの伝送損失および伝送損失の温度依存性が低減できる。つまり、波長分散補償光ファイバの巻き歪みが実質的に解放された状態で光ファイバコイルがコイルに収納できる。

【0060】(第 3 の実施の形態) 光ファイバコイルを用いて波長分散補償器を製作するには、単に光ファイバ

コイルを収納ケースに収納して、ビグテールファイバを接続するだけでは、波長分散補償器の運搬等の際の振動、衝撃により、光ファイバコイルの破壊や特性変動を生じる場合がある。そこで、振動や衝撃により光ファイバが部分的に飛び出したり、また巻き外径が増えたりする巻き崩れを防止する措置が必要である。

【0061】本実施の形態では、巻き崩れ防止部材として樹脂を用いて、第 1 の実施の形態で説明した光ファイバコイルを、収納ケースに固定する場合について説明する。

【0062】図 10 は、束状の光ファイバコイル 32 を収納ケースである収納箱 40 に収納するときの上面図である。束状の光ファイバコイル 32 が、樹脂 42 により 4 箇所にて収納箱 40 に固定されている。光ファイバコイル 32 の両端は、それぞれビグテールファイバに融着部分 44 で接続されている。樹脂は、光ファイバコイルの伝送損失値の増加および温度依存性を抑えるために、熱膨張係数および塗布後の収縮率が小さい接着性を有するものが好ましい。本実施の形態では、シリコン樹脂を用いた。シリコン樹脂としては、例えば、信越化学工業 (株) 製の KE45T がある。このように、光ファイバコイル 32 は周囲から複数の箇所固定される。樹脂による固定部分は、ほぼ等間隔に 4 箇所以上が好ましい。4 箇所以上あれば、光ファイバコイルを収納箱に十分に固定できるからである。固定部分は、ほぼ等間隔に 8 箇所以上あれば、かなりの衝撃に対しても耐えられるので、更に好ましい。なお、樹脂の固定部分の幅は、 5 mm 程度が好ましい。この程度あれば、塗布具で塗布する時も無理がないからである。

【0063】図 11 は、光ファイバコイルを収納箱 40 に収納するときの模式図である。光ファイバコイル 32 を収納箱 40 に樹脂 (図示せず) で固定した後に、収納箱 40 の蓋 46 を閉めると、巻き崩れが防止された状態でファイバコイル 32 が収納箱 40 に収納される。蓋 46 が閉められた状態でも光ファイバコイルの DCF 束内に間隔があり、また DCF 束と収納箱 40 との間にも空間があるので、高温環境下に置かれても DCF は周囲の熱膨張による影響を受けない。

【0064】このようにして収納された光ファイバコイルに衝撃試験を行った。衝撃試験は、IEC 68-2-29Eb の規定に従い、加速度 98 m/sec^2 、衝撃印加時間 16 msec 、衝撃印加回数 1000 回の条件で実施した。衝撃印加方向は、図 11 に示すように、巻き回した光ファイバコイルを含む面に垂直な方向である。この衝撃試験の後でも、光ファイバコイルに巻き崩れは生じなかった。波長 $1.55 \mu\text{m}$ で伝送損失値を測定しても伝送損失の増加はなく、また温度 70°C で測定しても光ファイバに本質的に存在する損失増加以外はなかった。

【0065】以上、説明したように、束状態の光ファイ

バコイル32を収納箱40に樹脂42で固定すれば、巻き崩れを起こすこともなく、また光ファイバコイルの巻き歪みが実質的に解放された状態で、収納箱に収納できる。したがって、振動、衝撃等による光ファイバコイルの破壊や特性変動が防止され、また伝送損失値および伝送損失の温度依存性が低減された小型の波長分散補償器を得ることができる。

【0066】(第4の実施の形態)本実施の形態では、巻き崩れ防止部材として樹脂を用いて、第2の実施の形態で説明した光ファイバコイルを、コイルに固定する場合について説明する。

【0067】図12は、第2の実施の形態で使用したコイルの側面図である。本実施の形態の場合は、4箇所の樹脂塗布部分52に塗布された樹脂によりコイル26に光ファイバコイルが固定され、DCF50が光ファイバコイルから引き出されている。樹脂を塗布する部分は、側面図である図12では見えないが、説明のために明示的に図示した。

【0068】図13は、図12のB-B'線断面図である。樹脂54は、2枚のコイル26の内側に光ファイバコイル48をコイル26に固定するように塗布する。樹脂としての特性は、第3の実施の形態と同じであるので詳細は省略する。このように、光ファイバコイル48は周囲から複数の箇所固定される。樹脂による固定部分は、ほぼ等間隔に4箇所以上が好ましい。固定部分が4箇所以上あれば、光ファイバコイルをコイル26に十分に固定できるからである。固定部分は8箇所以上ほぼ等間隔にあれば、かなりの衝撃に対しても耐えられるので、更に好ましい。なお、樹脂54の幅は、5mm程度が好ましい。この程度あれば、塗布具で塗布する時も無理がないからである。

【0069】収納した光ファイバコイルに、第3の実施の形態と同じ条件で、衝撃試験を行った。衝撃印加方向は、図13に示すように、光ファイバコイル48を含む面に垂直な方向である。衝撃試験後でも光ファイバコイルに巻き崩れは生じなかった。波長1.55 μ mで伝送損失値を測定しても伝送損失の増加はなく、また70℃で測定しても光ファイバに本質的に存在する損失の増加以外はなかった。

【0070】以上、説明したように、DCFを巻き回した後に胴径を縮小し、更に光ファイバコイル48をコイル26に樹脂42で固定すれば、巻き崩れを起こすことなく、また光ファイバコイルの巻き歪みが実質的に解放された状態で、収納ケースであるコイルに光ファイバコイル48を収納できる。したがって、振動、衝撃等による光ファイバコイルの破壊や特性変動が防止され、また伝送損失値および伝送損失の温度依存性が低減された小型の波長分散補償器を得ることができる。

【0071】(第5の実施の形態)本実施の形態では、巻き崩れ防止部材であるクッション材を配置して、第1

の実施の形態で説明した束状の光ファイバコイルを、収納箱に固定する場合について説明する。

【0072】図14(a)は、光ファイバコイルを収納するクッション材の斜視図である。光ファイバコイルを収納するために、収納箱62の大きさに合わせてクッション材60を切り出し、クッション材60の上面に光ファイバコイル収納部を形成する。光ファイバコイル収納部は、光ファイバコイル32の形状である円柱殻の領域と光ファイバコイルの引き出し領域とを含んだ部分のクッション材60をくり貫いて形成する。深さは、光ファイバコイルを収納して、上部にクッション材の蓋ができる程度が好ましい。このようにすれば、光ファイバコイルの周囲をクッション材で囲むことができる。底部の形状は、図14(a)では、断面がU字型または半円状としたが、この形状に限られない。また、クッション材の形状は、図14に示した形状に限られない。図15に示すクッション材67のように、クッション材60から一部を切り取った形状でもよい。このような形状にすると、光ファイバコイルがクッション材により複数の箇所支持される。

【0073】図14(b)は、クッション材60を用いて光ファイバコイル32を収納するときの模式図である。クッション材60を収納箱62に入れて、光ファイバコイル32を光ファイバ収納部に収納し、引き出されたDCFをビグテールファイバに融着部分44で接続する。この後に、クッション材の蓋66を光ファイバ収納部に合わせて置き、収納箱の蓋64を閉じると、光ファイバコイル32が固定される。蓋66の形状は、光ファイバ収納部の開口領域を覆う形状が好ましい。光ファイバコイル32上をクッション材で覆えるからである。光ファイバコイル収納部の形状と略同一であれば更に好ましい。光ファイバコイル収納部に合わせて光ファイバコイル32上をクッション材で覆えるからである。

【0074】クッション材としては、加工が容易なこと、光ファイバを傷つけない程度に柔らかいこと、ヤング率が小さく収納した時に僅かな押しつけ力で光ファイバを包むように弾性変形することが要求される。このようなクッション材として、軟質ポリウレタン、発泡ポリエチレンが好ましいが、特に、加工が容易なので実用上は、発泡ポリエチレンが好ましい。上記要求を満たすものであれば、これに限られない。なお、本実施の形態においては、発泡ポリエチレンとして、イノアックコーポレーション(株)製の品番PEライト、B4を使用した。この発泡ポリエチレンの密度は、0.027g/cm³である。

【0075】収納した光ファイバコイルに、第3の実施の形態と同じ条件で、衝撃試験を行った。衝撃印加方向は、図14に示すように、光ファイバコイル32を含む面に垂直な方向である。衝撃試験後でも光ファイバコイルに巻き崩れは生じなかった。波長1.55 μ mでの伝

送損失値を測定しても伝送損失の増加はなく、また70℃で測定しても光ファイバに本質的に存在する損失の増加以外はなかった。

【0076】以上、説明したように、クッション材60をくり貫いて形成した光ファイバコイル収納部に光ファイバコイル32を収納すれば、巻き崩れを起こすことなく、また光ファイバコイル32の巻き歪みが実質的に解放された束の状態、収納箱62に収納できる。したがって、振動、衝撃等による光ファイバコイルの破壊や特性変動が防止され、また伝送損失値および伝送損失の温度依存性が低減された小型の波長分散補償器を得ることができる。

【0077】（第6の実施の形態）本実施の形態では、巻き崩れ防止部材であるクッション材を配置して、第2の実施の形態で説明した光ファイバコイルを、収納ケースであるコイルに固定する場合について説明する。

【0078】図16は、クッション材68を用いて光ファイバコイル48をコイルに収納するときの模式図である。コイル胴の両側にあるコイル鏝26間にクッション材68を挟み、且つコイル鏝26の外周に合わせて全局にわたって巻き回すことにより、光ファイバコイル48がコイル鏝に固定される。クッション材68は、樹脂によりコイル鏝26に固定される。樹脂は、光ファイバコイル48に付着しないように塗布されることが好ましい。クッション材の寸法は、使用するコイル鏝26の大きさおよびDCFの巻き数等により異なる。本実施の形態では、厚さは3mm、幅はコイルの巻き幅に合わせて18mm、長さはコイル鏝26の外周長に合わせて約62.8mmの直方体が好適である。クッション材の形状は、図16に示した形状に限られない。図17のように、複数の薄い直方体のクッション材72を複数箇所に配置して、光ファイバコイル48をコイル鏝に固定してもよい。また、クッション材68には、コイルに巻き回したDCFの引き出し口を設けることが好ましい。図16では、引き出し場所に相当する部分にクッション材68の厚さ方向に貫く孔70を引き出し口として設けている。

【0079】なお、クッション材の特性は第5の実施の形態と同じなので詳細は省略する。樹脂としてはシリコン樹脂が好ましい。ただし、使用環境として想定される0℃～70℃程度の範囲で熱履歴を加えても剥離しない樹脂であれば、これに限られない。

【0080】収納した光ファイバコイルに、第3の実施の形態と同じ条件で、衝撃試験を行った。衝撃印加方向は、図16に示すように、光ファイバコイル48を含む面に垂直な方向である。衝撃試験後でも光ファイバコイルに巻き崩れは生じなかった。波長1.55μmで伝送損失値を測定しても伝送損失の増加はなく、また70℃で測定しても光ファイバに本質的に存在する損失の増加以外はなかった。

【0081】以上、説明したように、束状態の光ファイバコイル48をクッション材68で固定すれば、巻き崩れを起こすことなく、また光ファイバコイル48の巻き歪みが実質的に解放された状態で、コイルに収納できる。したがって、振動、衝撃等による光ファイバコイルの破壊や特性変動が防止され、また伝送損失値および伝送損失の温度依存性が低減された小型の波長分散補償器を得ることができる。

【0082】第1の実施の形態および第2の実施の形態では、巻き歪みが実質的に解放された状態として、光ファイバコイルを束状態にする場合及び光ファイバコイルのコイル胴を巻き取り後に実質的に縮小する場合について説明した。巻き歪みを実質的に解放する手段は、これらに限られない。

【0083】また、第1の実施の形態から第6の実施の形態では、二重クラッド型のDCFを用いて波長分散補償器を製作する場合を説明した。本発明はこれに限定されず、二重コア型およびセグメントコア型のDCFにも同様に適用できる。

【0084】従来の技術では、直径100mm以下の小型コイルは、実用レベルの波長分散補償器を作製するのが不可能であった。しかし、第1の実施の形態から第6の実施の形態で説明したように、本発明によれば、巻き歪みが実質的に解放された状態で収納ケースに収納できるので、伝送損失および伝送損失の温度依存性の低減された小型の波長分散補償器を実現できる。

【0085】なお、特開昭62-91810号公報には、光ファイバと光学素子との光学的結合部を含む光学系の隙間および周囲に、樹脂を充填し固化して、樹脂内に光学系を埋め込んだ発明が開示されているが、光ファイバジャイロの分野のものであり、波長分散補償器に関する記載はない。また、特開平8-75477号公報には、振動特性の優れた光ファイバコイルの発明が開示されているが、光ファイバジャイロの分野のものであり、波長分散補償器に関する記載はない。

【0086】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、小型コイルに広帯域用DCFを巻き回して波長分散補償器を製作するに際して、広帯域用DCFの巻き歪みが実質的に解放された状態で収納ケースに収納するようにした。これにより、伝送損失が低減された小型の波長分散補償器を製作できると共に、光増幅器と併設して使用する等により高温下にさらされる場合においても、伝送損失が増加しない波長分散補償器を製作することが可能である。

【0087】また、巻き崩れ防止部材により収納ケースに光ファイバコイルを固定するようにしたので、振動、衝撃等による光ファイバコイルの破壊や特性変動を防止することが可能である。

【図1】図1は、2層からなる被覆層をもつ波長分散補償光ファイバの断面図である。

【図2】図2は、波長分散補償光ファイバの巻き取り用のコイルの斜視図である。

【図3】図3は、波長分散補償光ファイバの諸元を一覧に示した諸元一覧図である。

【図4】図4は、光ファイバAの伝送損失値の波長依存性を示した特性図である。

【図5】図5は、巻き取り後にコイルにかけるヒートサイクルの温度変化図である。

【図6】図6は、コイルの胴抜き後の伝送損失値の波長依存性を示した特性図である。

【図7】図7(a)は、胴径を縮小できるコイルの分解部品図である。図7(b)は、楔状部材の側面図である。図7(c)は、胴径を縮小できるコイルの組み立て後の断面図である。

【図8】図8(a)は、コイル支持部材の上面図である。図8(b)は、図8(a)のA-A'線断面図である。図8(c)は、溝の拡大図である。

【図9】図9(a)と図9(b)は、それぞれコイル胴を縮小する前のコイルの側面図と上面図である。図9(c)と図9(d)は、それぞれコイル胴を縮小した後のコイルの側面図と上面図である。

【図10】図10は、光ファイバコイルを収納箱に樹脂で固定したときの模式図である。

【図11】図11は、光ファイバコイルを収納箱に収納するときの模式図である。

【図12】図12は、光ファイバコイルを樹脂で固定した後のコイルの側面図である。

【図13】図13は、図12のB-B'線断面図である。

【図14】図14(a)は、光ファイバコイルを収納するクッション材の斜視図である。図14(b)は、クッション材を用いて光ファイバコイルを収納するときの模式図である。

【図15】図15は、光ファイバコイルを収納するクッション材の斜視図である。

【図16】図16は、光ファイバコイルをクッション材で固定するときの模式図である。

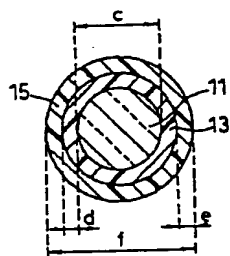
【図17】図17は、光ファイバコイルをクッション材で固定するときの模式図である。

【図18】図18(a)～(d)は、波長分散補償光ファイバの断面方向の屈折率分布を示した模式図である。

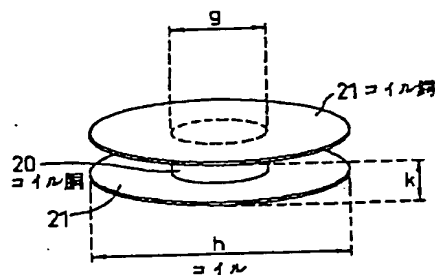
【符号の説明】

11…光ファイバ、13…一次被覆層、15…二次被覆層、20…コイル胴、21…コイル鍔、22…芯部材、24…楔状部材、26…コイル鍔、28…支持部材、30…突起、32…光ファイバコイル、34…左右支持部材の接続壁、36…支持部材の溝、38…巻巻きばね、40…収納箱、42…樹脂、44…融着部分、46…収納箱の蓋、48…光ファイバコイル、50…DCF、52…樹脂塗布部分、54…樹脂、60、67…収納用クッション材、62…収納箱、64…収納箱の蓋、66…蓋用クッション材、68、72…コイル用クッション材

【図1】



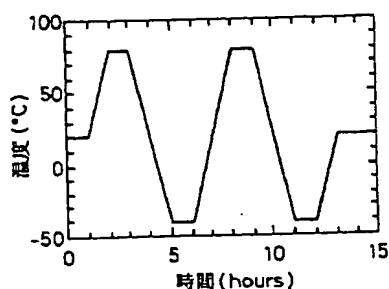
【図2】



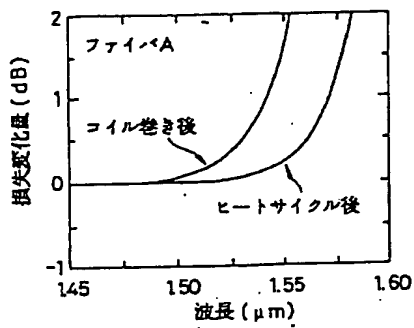
【図3】

ファイバA	
屈折率分布形状	図15(b)
$\Delta + (\%)$	2.1
$\Delta - (\%)$	-0.4
$a (\mu\text{m})$	265
$b (\mu\text{m})$	258
波長分散 (ps/nm/km, @1.55 μm)	-100
波長分散傾斜 (ps/nm ² /km, @1.55 μm)	-0.29
伝送損失 (dB/km)	0.40
ガラス径 C (μm)	100
一次被覆径 d (μm)	20
一次被覆ヤング率 (kg重/mm ²)	0.06
二次被覆厚 e (μm)	20
二次被覆ヤング率 (kg重/mm ²)	65
ファイバ外径 f (μm)	180
ファイバ長 (km)	10

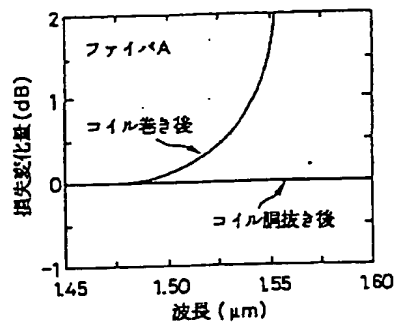
【図5】



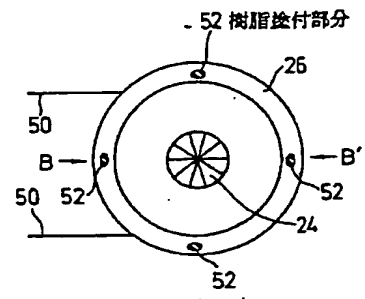
【図4】



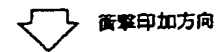
【図6】



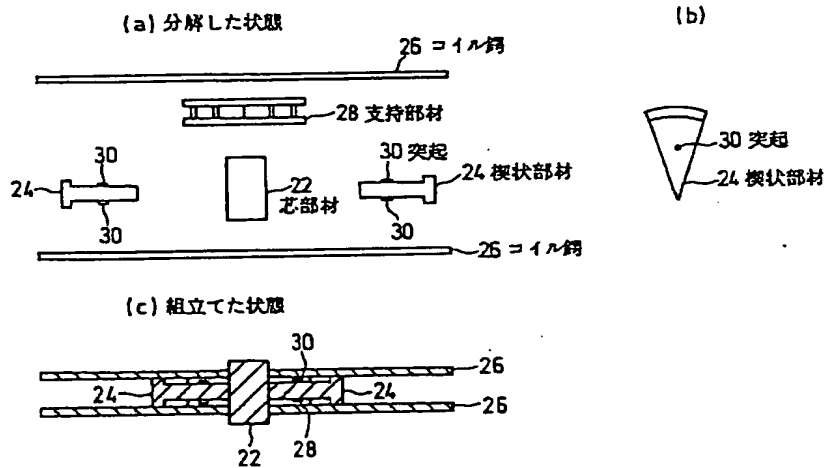
【図12】



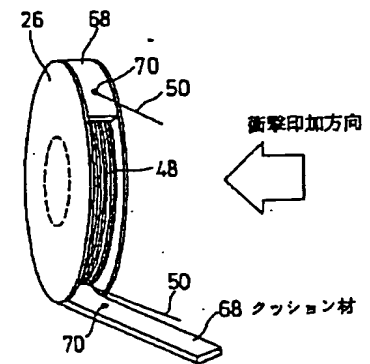
【図13】



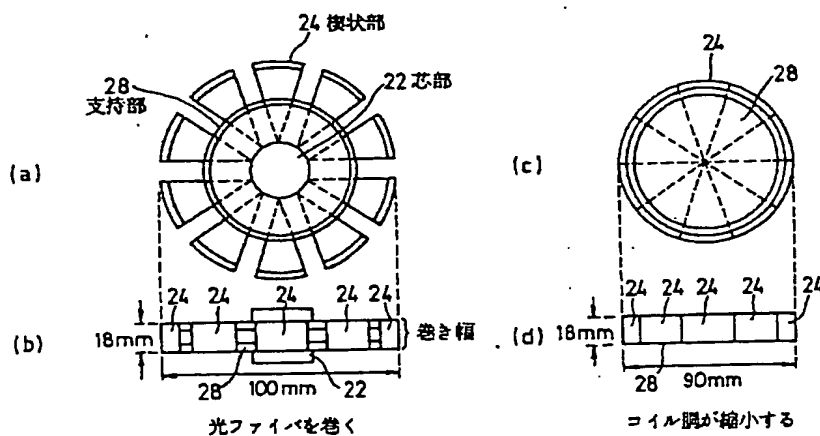
【図7】



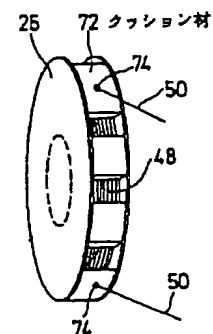
【図16】



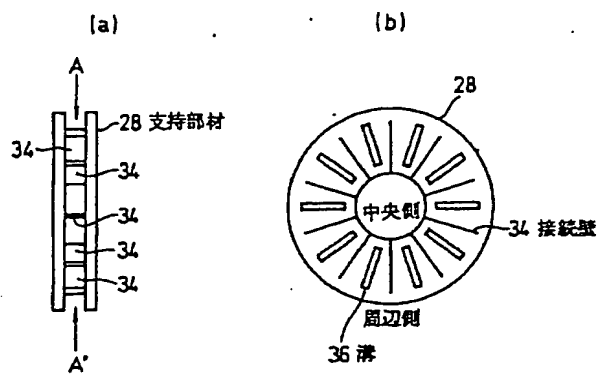
【図9】



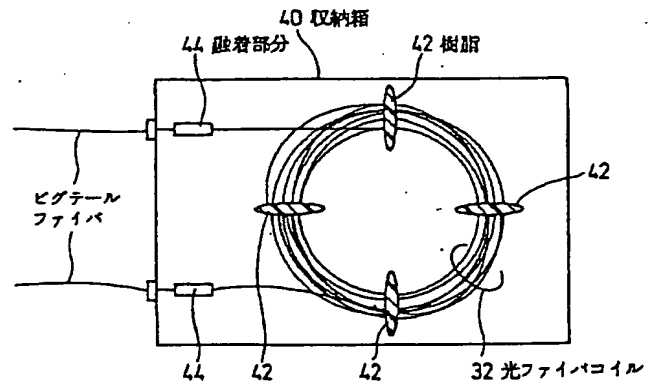
【図17】



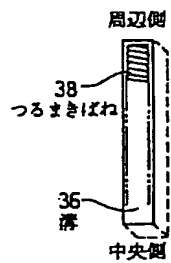
【図8】



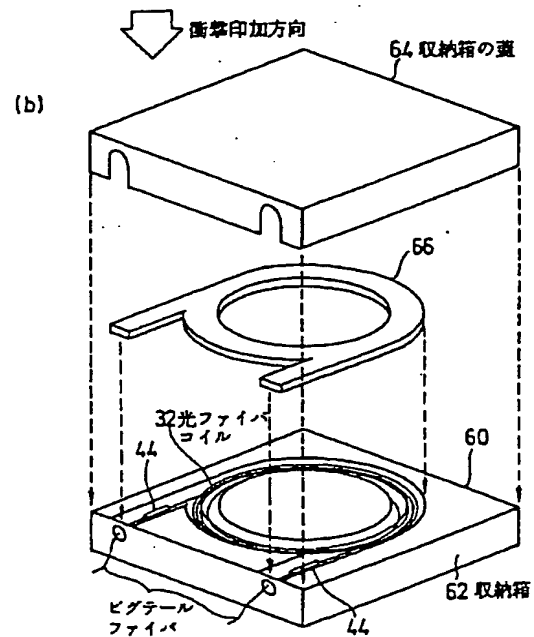
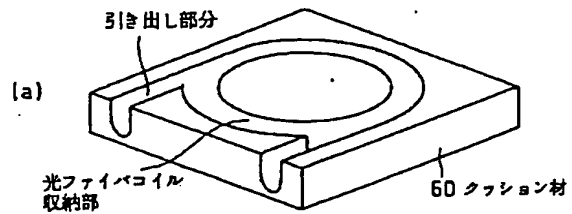
【図10】



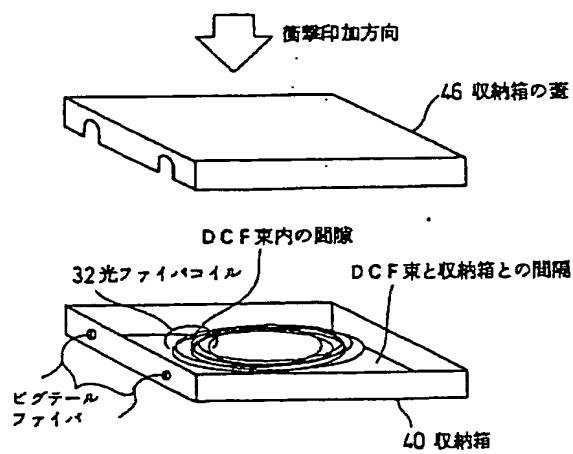
(c)



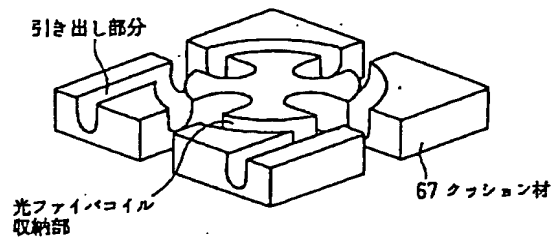
【図14】



【図11】



【図15】



【図18】

